JAXA's
宇宙航空の最新情報マガジン
[ジャクサス]
国立研究開発法人
宇宙航空研究開発機構 機関誌
No.065
July 2016
JAXA
TAKUYA ONISHI
信頼を、さらに強く。
日本にしか できないことがある。

宇宙航空の最新情報マガジン

［ジャクサス］
国立研究開発法人
宇宙航空研究開発機構 機関誌

No.065
July 2016

CONTENTS

Cover Story

JAXA宇宙飛行士 大西卓哉
第48次／49次長期滞在クルーとして、国際宇宙ステーション（ISS）に約4ヵ月間滞在する予定です。今号10～11ページでは、打ち上げを目前に控え、長期滞在に向けた抱負を語っています。

JAXA's発行責任者の庄司義和です。
X線天文衛星ASTRO-Hの失敗により、国民の皆様の期待を大きく損なってしまった今、JAXAに必要なのは信頼回復です。今号では基礎基盤研究に地道に取り組む姿、プロジェクト遂行を支える姿を中心に取り上げることにしました。ひたむきに、必ずやり遂げるという気概を持って仕事に取り組む姿をご覧いただければと思います。
宇宙・航空分野の研究開発は常に挑戦の連続です。広く世界を見回すと、アメリカ・スペースX社によるロケットの第一段機体の洋上回収成功に代表されるように、新しい仲間の活躍が著しいです。日本の代表として、JAXAも挑戦を続けてまいります。

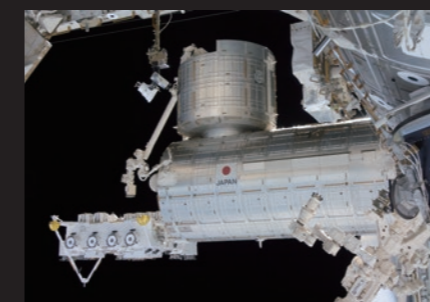
★発行責任者
JAXA
（国立研究開発法人
宇宙航空研究開発機構）
広報部長 庄司 義和

★編集制作
株式会社ファイブ・シーズ
2016年7月1日発行

宇宙飛行士の活躍の陰に管制チームあり!

宇宙飛行士と「きぼう」日本実験棟を支える フライトディレクタたち

高度400kmの軌道上を周回する国際宇宙ステーション（ISS）では、宇宙飛行士によって様々な実験が行われています。しかし、フライトディレクタを中心とした地上の管制チームの活躍なくして、宇宙飛行士は活動できません。では、フライトディレクタはどのようにして宇宙飛行士を支援しているのでしょうか？ フライトディレクタの井田恭太郎さん、中野優理香さんに聞きました。

取材：斉藤 勝司（科学ライター）

「きぼう」日本実験棟（©JAXA／NASA）

「きぼう」日本実験棟の運用を統括

これまで多くの宇宙飛行士によって、ISSの微小重力環境を利用して地上では行えない様々な実験が行われてきました。その中には高品質なタンパク質の結晶化や、次世代のモノづくりに役立てられるであろう材料科学実験などが含まれており、近い将来、ISSで得られた研究成果が、私たちの生活を大きく変えると期待されています。

実はこうした実験は宇宙飛行士だけで行われているものではありません。地上の管制チームの支援なくして、ISSで宇宙飛行士は活動できないのです。フライトディレクタの井田恭

「きぼう」日本実験棟の内部

太郎さんがこう説明してくれました。

「ISS計画に参加する15カ国のうち、担当する実験棟を持つアメリカやロシアなどの国はそれぞれの実験棟の管制を独自に行っています。日本のJAXAは『きぼう』を受け持っており、筑波宇宙センターの管制室に設置された複数のポジションが『きぼう』から送られてくる様々なデータを監視し、統括するフライトディレクタの下、予定された実験が滞りなく実施されるように管制しているのです」

※コラムを参照

有人宇宙技術部門
有人宇宙技術センター
研究開発員
JAXAフライトディレクタ
井田 恭太郎（いだ きょうたろう）

NASAとの交渉は腕の見せ所

ISSが周回しているのは極限環境の宇宙。この宇宙環境を相手にした作業は、時に計画通りに進まない事があります。そのような事態の対処に当たる必要がある場合、世界15カ国が参加して運営されているISSでは勝手な行動は認められません。井田さんが続けます。

「宇宙飛行士のスケジュールは分刻みで決まっていますから、勝手に予定を変えるわけにはいきません。それに、ISSで消費する電力は、すべて太陽電池パネルで発電したもので、各実験棟に分配されているため、トラブルに対処するためであっても、勝手に消費電力を増やすことはできないのです。まずISS全体を統括しているNASAのフライトディレクタと交渉して、必要な対策を講じられるようにするのも、フライトディレクタの重要な仕事のひとつなのです」

筑波宇宙センターの管制室からは、常にNASAの管制室を映すことができ、また、いつでもフライトディレクタと連絡がとれるようになっています。しかし、交渉をうまく進めるためには、NASAのフライトディレクタの作業状況や調整のタイミングを見定める必要があると、井田さんは語ります。

「NASAのフライトディレクタの下には各国の管制室からの要望が寄せられ、時には深刻な話をしている場合もあります。宇宙飛行士の生命に危険が及ぶような緊急事態ならともかく、他国の管制担当者と深刻な話をしている最中は、こちらの要望を聞き入れてもらえないこともあるのです」

とはいえ、NASAのフライトディレクタの顔色を窺うばかりでは交渉は進みません。特に細胞を用いた生命科学の実験では、培養を開始してから何日目に実験を行うという作業タイミングが決まっている場合があります。そのような実験が無駄にならないように事前に計画を調整したり、急な場合もお互いに助け合えるように柔軟な対応が求められます。フライトディレクタは各ポジションから寄せられたデータを取りまとめ、的確に必要な情報をNASAのフライトディレクタに伝え、予定の変更を認めてもらわなければなりません。NASAとの交渉はフライトディレクタにとって腕の見せ所でもあるのです。

インクリメント担当のフライトディレクタ

井田さん、そして中野優理香さんは、現役のフライトディレクタなのですが、重要となるインクリメント担当のフライトディレクタについて 中野さんがこう説明してくれました。

「例えば、ISSに物資を運ぶ補給機『こうのとり（HTV）』の管制については、打ち上げごとに担当するフライトディレクタが任命されますが、継続して運用されている『きぼう』の場合、“インクリメント（Increment）”と呼ばれる運用期間単位が区切られ、担当するフライトディレクタを決めています。インクリメント担当になると、24時間3交代でシフトに入るフライトディレクタの仕事に加えて、実験や『きぼう』日本実験棟のメンテナンスを予定通り行うための事前準備に当たります」

ISSに日本人宇宙飛行士が滞在しているかどうかにかかわらず、「きぼう」の実験は行われていますから、常にインクリメント担当のフライトディレクタが必要となります。油井亀美也宇宙飛行士の滞在時には井田さんが中心となり管制チームをまとめました。そして、2016年7月上旬からは、大西卓哉宇宙飛行士滞在に合わせ中野さんが、井田さんの強い意志を引き継ぎ、管制チームを率いていきます。

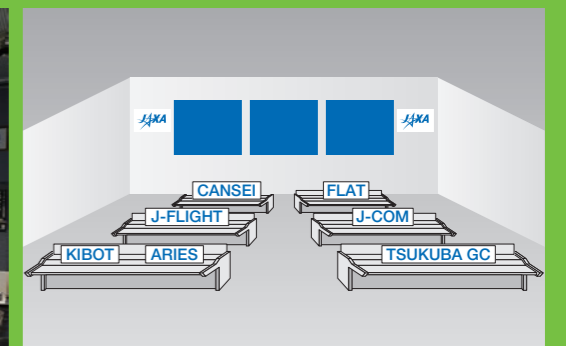
インクリメントの担当になると、その期間の「きぼう」で活動する宇宙飛行士が最高のパフォーマンスを発揮できるように支援します。中野さんが付け加えます。

「インクリメントの担当が決まると、1年以上前から、想定されるあらゆるトラブルに備えて、代替手段や対処法を考える地道な作業を行います。ですから、緊急時の即応力に加えて、地道な作業をやり続ける根気強さもフライトディレクタに求められる資質のひとつだと思います」

ミッションの成功を支える管制チーム

「きぼう」での利用成果というと、ISSに滞在して実験を行った宇宙飛行士ばかり注目されてしまいます。しかし、井田さんと中野さんに話を聞いて、フライトディレクタを中心とした管制チームの活躍がミッションの成功を支えていることがお分かりいただけたでしょう。

有人宇宙技術部門
有人宇宙技術センター
研究開発員
JAXAフライトディレクタ
中野 優理香（なかの ゆりか）

これが「きぼう」の管制室だ！

刻一刻とISSから膨大なデータがもたらされる管制室。到底、一人の地上管制官だけで対応できるものではありません。そのため、「きぼう」の管制チームでは、フライトディレクタを中心に専門の地上管制官たちにより運用が行われています。

各地上管制官に与えられた担当を“ポジション”と呼び、管制室の前方左側に陣取る「CANSEI（カンセイ）」は通信機器や電気機器、管制システムの制御を行っています。カンセイの右隣の「FLAT（フラット）」では、「きぼう」の環境制御に関わる空調などを監視。宇宙飛行士との対話は、フラットの後ろの「J-COM（ジェイコム）」が担当。一番後ろの列には、「きぼう」のロボットアームやエアロックを制御している「KIBOTT（キボット）」、宇宙飛行士の船内活動を支援したり、「きぼう」内の物品の管理を行う「ARIES（アリーズ）」、運用ネットワークシステムなどの地上設備を担当する「TSUKUBA GC（ツクバジーシー）」が並んでいます。さらに、実験運用チームがいるのですが、これらのポジションを統括して、「きぼう」運用の全責任を負っているのが、フライトディレクタの「J-FLIGHT（ジェイフライト）」なのです。

Dr. Amelia P. Guevara
Department of Science and Technology (DOST)

Dr. Joel Joseph S. Mareiano
Advanced Science and Technology Institute (ASTI)

ISS「きぼう」日本実験棟より、

フィリピン初の国産人工衛星「DIWATA-1」の放出に成功

2016年4月27日、フィリピンの言葉で「妖精」と名付けられた超小型衛星「DIWATA-1」が、「きぼう」日本実験棟から放出されました。放出の当日、JAXA筑波宇宙センターを来訪された、フィリピン科学技術省とフィリピン大学のご担当者よりコメントをいただきました。

フィリピン科学技術省
科学技術サービス担当次官

アメリア・P・ゲバラ博士(写真左)

「今回、私ども科学技術省とフィリピン大学の若い技術者たちを、初めて日本の北海道大学と東北大学に派遣し、人材育成の意味も込めて『DIWATA-1』を共同開発しました。わずか1年という短期間で大変でしたが、彼らはプロジェクトを完遂してくれたのです。今後もJAXAとの関係を継続させていき、人材育成においても、より深く協力してもらうことを望みます」

フィリピン大学

ジョエル・ジョゼフ・S・マリアーノ教授(写真右)

「台風の通り道であるフィリピンでは、気候変動や被災状況の把握など、衛星画像が多くの恩恵をもたらします。よって、たとえ超小型であっても、自分たちでコントロールできる地球観測衛星があれば、多様なニーズに対応できるのです。2機目の開発も進んでいますが、より長期のプロジェクトになり、人材育成の面でも得るものが広がるため、これらの経験を基に、自国で国立宇宙機関を創設する足掛かりにしたいです」

超小型衛星の利用が、人類に新たな知見をもたらす

多くの国々に衛星放出の機会を提供する「きぼう」の貢献、
そして超小型衛星が秘める無限の可能性を見ていきましょう。

有人宇宙技術部門
有人宇宙技術センター
研究開発員
赤城 弘樹(あかぎ ひろき)

拡大を続ける超小型衛星の放出ニーズ

10年ほど前から、CubeSatと呼ばれる超小型衛星の開発が日本をはじめ、各国の大学・民間企業などで始まりました。CubeSatは、縦10cm×横10cm×高さ10cm、質量約1kgの立方体を1Uと規格化した超小型衛星で、その小ささゆえに低コストで短期間に開発できることから、世界中で多く開発され、宇宙空間への打ち上げニーズも高まっています。しかし、CubeSatに対する従来の打ち上げ手段は大型衛星の打ち上げ時にロケットに相乗りする「ピギーバック」方式しかなく、打ち上げ時の厳しい条件(振動や音響など)や、打ち上げ時期が大型衛星に左右されるという制約がありました。

そこでJAXAでは、CubeSatを宇宙へ運ぶ新たな手段として、日本独自の機構である「きぼう」日本実験棟のエアロックとロボットアームを活かした衛星を放出し軌道に乗せる仕組み、「小型衛星放出機構(J-SSOD)」を世界に先駆けて実現しました。J-SSODによる衛星放出では、「荷物」として超小型衛星を「きぼう」へ運ぶため、打ち上げ振動環境が緩和されること、また日本の「こうのとり(HTV)」だけでなく、各国のISS補給船を利用可能であり、多くの打ち上げ機会を確保できます。

2012年に初めて「きぼう」からの超小型衛星放出ミッションを行うと、この新たな手段に各国から注目が集まりました。これまでに「きぼう」から放出された衛星は、J-SSODおよび米国の放出機構を用いたミッションも含め、2016年6月現在で139機に及んでいます。このうち、106番目に放出されたのがフィリピンの「DIWATA-1」です。これはCubeSatより大きなMicrosatと呼ばれる、縦55cm×横35cm×高さ55cm、質量約50kgの衛星で、「きぼう」が持つ衛星放出能力の増強にもつながりました。

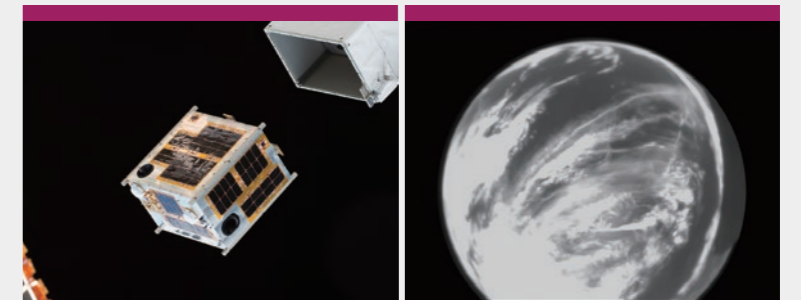
現在、J-SSODを用いた「きぼう」からの超小型衛星放出ミッションは、半年に一度の頻度で実施しています。しかし、「きぼう」からの衛星放出をご希望になる利用者の皆様が年々増加している状況を考え、一度に放出できる衛星の数を増やす計画が進行中です。サイズが1Uの場合、現状は最大6機ですが、これを2016年中に12機、2017年中には18機と、増強していく予定です。なお、放出後の超小型衛星は、観測・実験などのミッション期間を含め、約1年で大気圏に再突入するので、宇宙ゴミ(スペースデブリ)となる心配はありません。

小さな機体に無限の可能性を秘める

超小型衛星はサイズは小さいのですが、そこに無限の可能性を秘めています。例えば、まだ宇宙環境に曝されたことのない部品を載せて機能を実証する、あるいは衛星に様々な高精度のセンサを載せて、実用衛星として利用できる可能性も十分にあります。今まで机の上でやっていた実験を、宇宙で手軽に行うなどの使い方もできるかもしれません。今回の「DIWATA-1」のように、次世代の宇宙開発を担う人材の育成も可能です。重要なのは、超小型衛星の放出そのものよりも、それぞれの衛星が課せられたミッションを達成するために、私たちが利用者の皆様と共に放出ミッションを成功させる、ということなのです。

2015年9月、JAXAは国連宇宙部(UNOOSA)と、発展途上国に超小型衛星の放出機会を提供する連携プログラム「KiboCUBE」を締結しました。2017〜19年に、毎年1機(1U)の衛星を放出する予定ですが、すでに世界中から13件の申し込みがあり、現在、選定を進めています。自国で衛星の打ち上げ能力を持たない国々に、宇宙利用の機会を広げていきたいと考えています。

超小型衛星の利用は、様々な技術実証を通じて人類が今まで得ていなかった知見を獲得するチャンスであり、その技術で世界中の人々の暮らしが、もっと豊かになることも期待できます。人類にとって超小型衛星が未来への糧となるよう、ミッションに取り組んでいきます。

JAXA筑波宇宙センターで「DIWATA-1」放出の成功を喜ぶ関係者たち

「きぼう」から放出された「DIWATA-1」(©JAXA/NASA)

「DIWATA-1」の魚眼カメラが撮影した地球のモノクロ画像(©東北大学)

用語解説 【DIWATA-1】

フィリピン初の国産衛星で、開発資金は同国政府が提供し、日本国内で北海道大学・東北大学と共同開発された。魚眼カメラや地上解像度3mの望遠鏡など4種類の撮像装置を搭載し、自然災害の被害状況の把握や漁業・農業および森林モニターなどができる。放出の翌日、2016年4月28日には東北大学が衛星の電波を受信し、搭載カメラの撮影画像が送られてきた。

D-SENDプロジェクト——第2フェーズ試験で見せたJAXAの数値解析力

磨き上げた基盤技術がプロジェクトを救った

航空技術部門
数値解析技術研究ユニット
研究開発員
金森（かなもり） 正史（まさし）

JAXA航空技術部門では、次世代超音速旅客機の実現に向けた技術開発を進めており、その大きな要素となるソニックブーム低減技術の実証試験を成功させました。成功を陰で支えていたのは、数値解析の力だったのです。

取材:荒舩 良孝(科学ライター)

音速を超えることで発生する問題

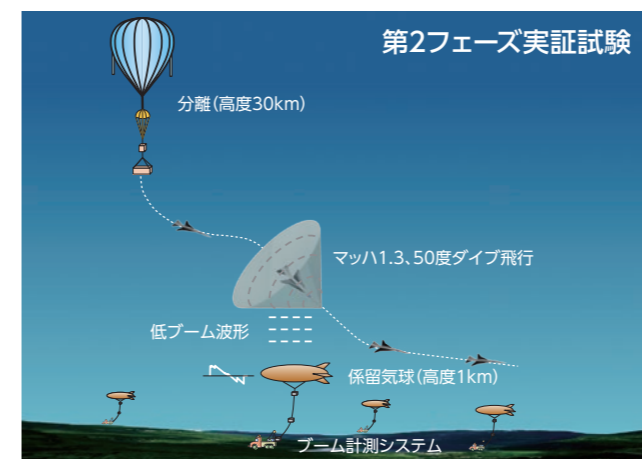
飛行機が発明されたおかげで、遠く離れた場所にもすぐに行けるようになりました。それでも、日本からアメリカやヨーロッパに行くのに10時間以上かかります。より短い時間で世界を結ぶためには、飛行機の速度を上げていけばいいのですが、そう単純な話ではありません。

機体が音速(高度20kmで時速約1000km)を超えると、機体の周りの温度が高くなったり、圧力が急激に変化したりと、飛行環境が一変してしまいます。その中でも、大きな問題のひとつが、ソニックブームの発生です。

ソニックブームはとても大きな騒音となって地上へ伝わります。2013年にロシアに落下した隕石もソニックブームを発生させ、窓ガラスが一斉に割れた映像は記憶に新しいでしょう。このように、ソニックブームを抑えることは、新しい超音速旅客機を開発するうえでとても重要な技術なのです。JAXA航空技術部門はソニックブームの低減技術を開発してきました。2011年からはD-SEND※プロジェクトをスタートし、ソニックブームを小さくする機体設計技術のコンセプトの実証に取り組みました。そして、2015年7月には、D-SEND#2と呼ぶ第2フェーズの実証試験をスウェーデン宇宙公社のエスレンジ実験場で行いました。

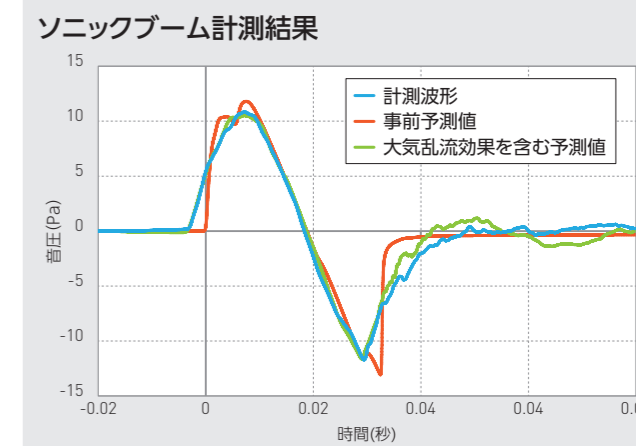
※D-SEND:Drop test for Simplified Evaluation of Non-symmetrically Distributed sonic boom

予想だにしなかった試験結果

第2フェーズの試験では、JAXAが開発した試験機を高高度から落下させて超音速飛行させ、機体から発生したソニックブームを計測しました(実証試験の図参照)。しかし、得られた波形は予想だにしないものだったのです。「なんじゃこりゃ?」波形を初めて見たとき、数値解析技術研究ユニットの金森正史研究開発員は思わずそう言ってしまったといいます。試験で得られた波形は、設計通りの波形とは程遠く、ずっとなだらかな形をしていたのです。これでは、JAXAの設計コンセプトを証明したことにはなりません。

プロジェクトを救った数値解析技術

このような波形の違いがなぜ発生したのか?金森研究開発員をはじめプロジェクトのメンバーは、波形が一致しない原因として考えられる可能性を、しらみつぶしに検証していきました。しかしその試みはことごとく失敗に終わります。そんな中、金森研究開発員はひとつの可能性に目を付けました。それは大気の不規則な変化である大気乱流の影響です。実際、大気乱流の影響によって、波形は鋭く尖ったり、あるいは逆になだらかになったりすることが知られていました。しかし、このような不規則な変動を扱うのは大変難しいことでした。そこで、これまでに培った数値解析技術を総動員して、新しいシミュレーションプログラムを作りました。そして、それを使って、波形の変形が大気乱流効果によるものだったことを見事に示したのです。この間わずか2カ月ほど。ほとんど奇跡だったと言っても過言ではありません。

「大気乱流の影響による、ソニックブームの波形の変化を証明できたことは、まさに研究者冥利に尽きると感じました」と金森研究開発員はうれしそうに振り返りました。

数値解析によって、大気乱流の影響を予測でき、ソニックブーム低減に対するJAXAの設計思想の正しさを示すことができましたが、今回、得られた成果はこれだけにとどまりません。実際、今回のような大きな飛行試験をしなくても、コンピュータの中で大気乱流の影響まで考えることのできるソニックブーム予測技術を獲得できたのです。この結果を受けて、D-SENDプロジェクトの試験・解析結果は、2016年2月に国際民間航空機関(ICAO)に提言されました。ICAOは、民間の航空機に関する運航のルールと技術を開発・制定し、騒音などの基準を策定する世界的な機関であり、今回の成果は、今後、開発されるであろう超音速旅客機の設計・飛行ルールを決定するのに大きな影響を与える、とても重要なものになります。

「大気乱流による影響は、プロジェクトとして想定しなかったものでした。それに対して短い期間で答えを出せたのも、数値解析の基盤技術をしっかりと準備していたからです。尊敬する上司が『刀を常に研いでおけ』とよく口にしますが、今回、自分の刀となる基盤技術を磨いておいたことで、予期しない出来事に適切に対処できたと考えます」と金森研究開発員。

JAXAの研究を支える研究開発員の磨き上げられた技術によって、プロジェクトは窮地から脱したばかりか、これからの超音速旅客機の開発にとって重要な知見も得られたのです。

用語解説

【数値解析】
様々な現象を、数学的なモデルを用いてコンピュータ・シミュレーションにより再現・予測する手法。

【ソニックブーム】
飛行機が音速よりも速いスピードで飛行するとき、機体の様々な場所から衝撃波が発生する。衝撃波は地上に伝わるまでの間に重なり合って、人間の耳には花火のように瞬間的な爆音に聞こえる。これがソニックブームである。2003年まで就航していた超音速旅客機コンコルドは、ソニックブームが発生するために、陸上ではなく海上でしか超音速で飛ぶことができなかった。現在、開発されている超音速旅客機は、ソニックブームの低減が大きな課題となっている。

第2フェーズ実証試験で用いられた機体

大西卓哉宇宙飛行士 ISS第48次／第49次長期滞在に向けて

「長期滞在を通じて、人類の進歩に貢献していきたい」

2016年7月7日にカザフスタンのバイコヌール宇宙基地から飛び立ち、約4カ月間、国際宇宙ステーション（ISS）に滞在する大西宇宙飛行士。フライト間近の6月10日、長期滞在にかける想いを語った。

取材：斉藤 勝司（科学ライター）

‣フライトまで1カ月を切った、現在の心境:

準備万端、いつでも飛べる状態です。

‣2009年、JAXAによる宇宙飛行士候補に選ばれてからの7年間:

7年間は、とても長い月日のようですが、実際に日々訓練を行った身としては、本当にあっという間でした。

‣厳しい訓練を経て、現在の自分を形づくった最も大きな出来事:

様々な訓練に真摯に取り組んできたことが、今の私を形づくってくれました。ひとつ挙げるとすると、キャプコム（CAPCOM=Capsule Communicator）の資格を取った経験ですね。キャプコムはNASAの管制チームの一員として軌道上の宇宙飛行士との交信を担当します。今回の長期滞在では、私が地上と交信するので、キャプコムの経験は、地上の管制チームの立場で考えるという点で活きてくると期待しています。

‣管制チームの立場を理解すると、ISSでの活動に違いが出る:

宇宙飛行士が何かひとつリクエストするだけでも、地上の管制チームでは膨大な検討を積み重ねていることを目の当たりにしました。例えば、無重力状態だと空気の対流が起こらないため、ISS内部では何かモノを動かしただけでも、空気の流れが乱れて一カ所に二酸化炭素がたまりやすくなる場合があります。地上の感覚だと、少しモノを動かすなんて些細なことだと思いがちですが、ISS内部では空気の流れに乱れが生じるので、管制チームはISSの環境変化に気を配ってくれているのです。それをキャプコムの仕事で理解できたことは、ISSでの生活で活きてくるでしょう。

‣JAXAのコーポレートスローガン、“Explore to Realize”の実現:

目標をより高いところに設定することが大きな意味を持っていると考えています。人類が高度に発達した文明を築けたのも、常に高い目標を設定して、チャレンジし続けてきた結果なのだと思います。そもそも高い目標を掲げなくなると、人類の進歩は止まってしまうのではないでしょうか。今回の長期滞在は私にとって大きなチャレンジです。このチャレンジを通じて“Explore to Realize”を実現し、人類の進歩に貢献していきたいですね。

H3ロケット

開発プロジェクトの深層に迫る

H3開発のロゴマーク

JAXAではH-IIAロケットに続く新たな基幹ロケットとして、H3ロケットの開発を進めています。H3はこれまでの大型ロケットと同じHシリーズに位置づけられますが、コンセプトから見直した、まったく新しいロケットです。H3ロケットは、どのようにして形づくられているのでしょうか。

取材:荒舩 良孝(科学ライター)

「日本の技術で、宇宙輸送をリードせよ。」

H3ロケットの第1段エンジンLE-9は2基または3基から、また、固体ロケットブースタSRB-3は、なし(左)・2本使用(中央)・4本使用(右)から選べる

よりきびしい制約の中での開発

H3ロケットのプロジェクトは2014年に立ち上がり、開発が進められています。現在主力となっているH-IIAロケットの開発が開始されたのが1996年で、そこから数えても約20年ぶりの開発です。H-IIAロケットはH-IIロケットの改良型という位置づけなので、新規開発という意味ではH-IIロケットの開発が始まった1986年以来、約30年ぶりの大プロジェクトです。開発の指揮を任された岡田匡史プロジェクトマネージャ(以下、岡田PM)からも、「かなりのプレッシャーを感じています」という言葉が出てきました。

H3ロケットの開発は、開発費約1900億円、試験機1号機の打ち上げは2020年度の予定です。しかも、打ち上げ価格はH-IIAロケットの半分の約50億円を目指します。開発資金と開発期間に加え、打ち上げ価格など、これまで以上に制約や条件の多い中で開発が進んでいます。2015年度に基本設計フェーズが完了し、現在は詳細設計フェーズに入っていますが、基本設計が完了するまでにも長い道のりがありました。

打ち上げたいときに打ち上げられるロケットへ

H3ロケットは日本政府の重要な人工衛星を打ち上げる基幹ロケットなので、国家プロジェクトとして進められています。プロジェクトの立ち上がりに当たり、まず、「自立性の確保」と「国際競争力のある輸送サービス」という方針が打ち出されました。自立性の確保は、日本が独自で宇宙機を打ち上げる手段を常に持つことを意味しています。そして、国際競争力は、商業的な人工衛星の打ち上げ依頼を様々な国や民間企業から受けられる、ということです。

これらの方針を実現するためには、どのようなロケットにしたらよいかを検討して、ミッション要求として定めました。ミッション要求は、ロケットが目指す姿を明文化したものです。ミッション要求を考えるに当たり、岡田PMは、「顧客の声(Voice of Customer)の実現を重視しました」と語ります。国際競争力を高めるには、顧客から支持されて、実際に発注していただかないといけません。そのため、打ち上げサービスを利用いただく可能性の高い企業や機関の方々の意見に耳を傾けました。その結果浮かび上がってきたのは、打ち上げ時の「信頼性」と安い打ち上げ「価格」、打ち上げスケジュールの「柔軟性および確実性」というキーワードでした。「多くのお客様は、ビジネスを展開するために人工衛星を打ち上げます。事業計画を滞りなく進めるために、打ち上げたいときに打ち上げられるロケットであることが必要です」(岡田PM)。

これまで、日本における商業衛星の打ち上げは、2015年11月に三菱重工業株式会社が自社の宇宙事業としてH-IIAロケットで打ち上げた、カナダ・テレサット社の通信放送衛星「Telstar 12 VANTAGE」1機のみです。今後、世界の中で高い国際競争力を確保し、たくさんの顧客から発注していただくために必要なロケットの打ち上げ能力、価格、整備期間、衛星の搭載環境(打ち上げ時の音響や振動および分離時の衝撃の低減)などを検討し、ミッション要求をつくりあげました。

“技術にしっかりと向き合って、妥協を許さずに愚直に開発を進めていきたいと思います”

第一宇宙技術部門
H3プロジェクトチーム
プロジェクトマネージャ
岡田 匡史(おかだ まさし)

民間企業と協同する開発・運用体制

目指すべきH3ロケットを実現するために、ミッション要求を定義して、次にシステムの大きな基本構成を定義します。

H3ロケットの開発は、JAXAだけで行っているわけではありません。H3ロケットの開発の特徴として、ロケットシステム全体の開発と打ち上げサービスを実施するプライムコントラクタとして三菱重工が選定されています。「ロケットが開発された後、実際に事業を行っていくのは、三菱重工さんです。今回は、開発の初期段階から主体的に参加していただいて、実際のビジネスを見越して運用しやすいロケットを実現してもらおうと考えています」(岡田PM)。

エンジンシステム、慣性センサ、固体ロケットブースタなどのキー技術は、JAXAがそれぞれの企業と開発していきますが、これらのキー技術を含め、ロケットシステム全体はプライムコントラクタの三菱重工が統合します。プライムコントラクタによる開発は、明確な責任体制の下で開発から運用までを一貫するというのが利点です。その一方で、これまでの開発のようにJAXAが具体的な設計に関わる機会が少なくなります。岡田PMは「それを解決するのはコミュニケーションしかないと思います。三菱重工さんをはじめ、企業の皆さんの技術力は素晴らしいです。開発に参加している企業の方々の価値観をひとつにしてH3の本来の目標とする姿を実現できるように、開発の色々な局面で、複数の設計案の中から最もふさわしい案を選ぶことが大切です。そのために、私たちは何がこのプロジェクトで大事なのかを伝え続けたいと思います」と力強く語ります。

妥協を許さず愚直に開発

現在、H3ロケットは基本設計が終わり、機器の具体的な機能・構成・配置などが決まりました。この基本設計をもとに燃料タンクやエンジンなど各部の試作品を作り、試験を実施しながら詳細設計を進め、試験機のための具体的な図面まで作成します。「登山でいうと、やっと3合目まで来たという感覚です。これまでは設計計算やコンピュータによる解析など、どちらかというと机上での議論が多かったのですが、これからは部品や機器の製作など製造現場での作業が増えていきます。今まで考えてきたことが本当に実現できるのかをひとつひとつ確かめていく作業が続きます」(岡田PM)。

2016年度の後半には、新しく開発している液体ロケットエンジンLE-9の燃焼試験が待っています。液体ロケットエンジンは、ロケットの中でも重要かつ難度が高く、この試験の成否がH3ロケット開発に大きな影響を与えるといっても過言ではありません。さらに、燃焼試験の後も、打ち上げまで様々な試験が連続して予定されているので、気の抜けない状況が続きます。「こういうときだからこそ、リスクマネジメントを徹底的に行います。試験のあらゆる状況を想定し、すぐに対応できるよう準備も怠りなく進めています。備えがあれば不安はなくなり、結果的に、よい試験成果が得られることが期待できるからです。引き続き技術にしっかりと向き合って、妥協を許さずに愚直に開発を進めていきたいと思います」と岡田PMは決意を新たに語ってくれました。2020年に、どのようなロケットが私たちの前に現れるのか、今からとても楽しみです。

新規開発する液体酸素と液体水素を用いた大型ロケットエンジン(LE-9)

結合・分離方式を簡素化し、イプシロンロケットにも共通利用される固体ロケットブースタ(SRB-3)

黒田 有彩（くろだ ありさ）
兵庫県出身。お茶の水女子大学理学部物理学科卒。タレントとして宇宙の魅力を発信しながらJAXA宇宙飛行士の受験を目指している。共著に『宇宙女子』。
Twitter: @KUROARI_RTTS

青木 節子（あおき せつこ）
東京都出身。慶應義塾大学大学院法務研究科教授。研究テーマは国際法、宇宙法。

新たな宇宙開発時代が到来する前に

今、求められる宇宙法とは

新たな宇宙開発時代が到来すれば、各国の思惑が衝突しかねません。当然、宇宙開発を進めるにはルールとなる法律が求められるわけですが、現在、どのような宇宙法が制定されているのでしょうか。宇宙法を研究する慶應義塾大学の青木節子教授に「宇宙女子」として活躍中の黒田有彩さんが迫ります。

構成:斉藤 勝司(科学ライター)

どこからが宇宙なのかは決まっていない?!

黒田▸そもそも宇宙法とは、どのような法律なのでしょうか?

青木▸人類の新しい活動空間である宇宙の秩序ある利用を確保するために、どのような行為が許されて、どのような行為が禁止されるのかをあらかじめ決めておかなければなりません。そのため、宇宙を探査し利用しようとする国の主権を調整するための条約が採択されています。宇宙開発利用は危険を伴う活動ですから、安全性を確保するために、活動の条件や損害賠償についても条約で定めています。ところで、宇宙利用は、国だけではなく私企業も行っています。国は、条約義務を守るために、どのような条件が整えば私企業が人工衛星を打ち上げていいのか、ということなども国内法を制定して定める場合があります。現在、日本も国内法を国会で審議しているところです。

黒田▸どのような行為が許され、どのような行為が禁じられているのですか?

青木▸人類初の人工衛星は、1957年に当時のソ連によって打ち上げられたのですが、その2カ月後に国連総会で「宇宙は平和的、科学的な目的に使わなければならない」との決議が出されました。総会決議は勧告であり、条約のような正式な法ではありませんが、宇宙を利用する上での最初に示されたルールと言えます。正式な法ですと、1967年に宇宙利用に関わる初めての条約となる宇宙条約が採択され、「宇宙の探査および利用はすべての国のために行われなければならない」、「宇宙は領有してはならない」といった宇宙利用の原則が示されました。

黒田▸宇宙開発の技術は日進月歩で進歩しています。そうした技術の進歩に合わせて、宇宙法も充実させなければなりませんね。

青木▸1967年に宇宙条約が作られて以降、宇宙条約を含めて5つの条約が作られましたが、活動国が増え、また私企業の活動も活発化する宇宙開発利用に十分に対応できているとは言えません。当然、ルールを充実させていかなければならないのですが、難しい問題があります。宇宙関連の条約は、国連の宇宙空間平和利用委員会(Committee on the Peaceful Uses of Outer Space: COPUOS)で作られるのですが、全会一致でなければ採択することはできません。1979年に最後の条約である月協定を採択した時には、COPUOSの加盟国は47カ国でしたが、現在は83カ国にまで増えました。これだけの数になると、各国の権益が衝突して、合意を醸成し、条約を作成することは非常に困難となります。事実、月協定以降、条約は作られていません。

黒田▸COPUOSで議論し続けても、合意ができないままにルールがない分野として、例えばどういうものがありますか?

青木▸例えば、どこからが宇宙空間なのかについては、現在も、国際合意はありません。その理由は、宇宙と領空の境界を決めてしまいますと、スペースシャトルのような往還機の場合、他国の領空を通過しながら地上に戻る場合があります。領空はその下にある国の主権下にあるので、その国の同意なしには通航ができなくなってしまいます。どこからが宇宙なのかが決まっていなければ、どこまでが領空なのかも定まらないため、領空通過のための同意を気にせず、往還機を打ち上げることができるので都合がいいのです。

求められる専門家の育成

黒田▸便宜的に決めないことがあるのはわかりましたが、早急にルールを作らないと困った事態になる問題もあるのではないですか?

青木▸例えば、スペースデブリ(宇宙ゴミ)の扱いは決めていかなければならないでしょう。運用を終えた人工衛星がデブリとなって宇宙空間に漂い続けており、運用中の人工衛星への衝突が懸念されていますが、デブリの扱いを規定した条約はありません。2007年に中国が自国の人工衛星を破壊する実験を行い、3000個以上の破片が宇宙空間を漂うことになりました。デブリが増えれば運用中の人工衛星に衝突するリスクが高まります。国際的にひんしゅくを買ったものの、意図的なデブリ発生を禁止する条約がないため国際法違反には当たらないのです。

黒田▸だったら、すぐにでもスペースデブリについての条約を作らなければなりませんが、条約の採択はほぼ不可能ということですね。このままでは、ルールがないまま宇宙開発を進めることになってしまいますね。

青木▸条約を作ることは難しくなっていますが、一方で総会決議やガイドラインはこれまで15近く作られています。守らなくても国際法違反にはならないという点で合意しやすい、お勧め文書のようなものですが、デブリについては、先程お話しした中国による人工衛星の破壊実験を受けて、2007年にCOPUOSスペースデブリ低減ガイドラインが作られ、その中に可能な限り意図的に衛星を破壊してはいけない、というルールがあります。また、宇宙機関間デブリ調整委員会(IADC)のガイドラインでは、2000km以下の低軌道のデブリについては、25年以内に地球に落下させなければならない、などのルールが示されています。

黒田▸宇宙法が十分に整わない中、日本に何が求められているのでしょうか?

青木▸各国の権益が衝突する中、日本の国益を守りつつ、調整役を買って出て、率先して国際ルール作りに貢献していかなければならないと考えています。

そのためには宇宙法の専門家の育成が必要です。しかし、法学部を持つ大学はたくさんあるのに、宇宙法を専門的に学べる大学は限られています。慶應義塾大学では、大学院法学研究科宇宙法専修コースに進学すれば、さまざまな部門の宇宙法を学び、宇宙法だけで法学修士号を取得できるようになっています。JAXAからは多大なご協力をいただいて、宇宙法専修コースのいくつかの科目を教えていただいていますし、JAXAとの協力で宇宙法研究センターも設置し、日本の宇宙法の実力を底上げし、特にアジア諸国への宇宙法ルール作成の能力開発支援を行うことを目指しています。日本からのルール発信とそのための専門家の育成に取り組んでいきたいですね。

黒田▸青木先生のこれからのご活躍に期待しています。どうもありがとうございました。

取材後記 (黒田 有彩)

「宇宙法」は今後、日本の宇宙開発の発展に必要不可欠なものであると知りました。これから宇宙開発に今まで以上に多くの国が参入してくるでしょう。青木先生にお話を伺い、スペースデブリなど宇宙環境問題への法整備は急務であり、改めて宇宙開発の目的や利用を地球規模で考えていかなくてはいけないと 感じました。

道なき道を作る、点と点の間を埋めていくのが「宇宙法」。いま宇宙でどのような問題があり、どう解決していくべきか。文系・理系にとどまらず多角的な視点が「宇宙法」には必要です。ぜひ、多くの方にこの分野を知って頂きたいです。

地球を見守り、社会に役立つ
地球観測衛星たち

第1回：地球の息遣いを見守り続けるベテラン衛星「いぶき」（GOSAT）

地球を回る人工衛星が担う大きな役割のひとつが、地球環境の観測です。地球観測衛星は、それぞれがとても個性的で、観測対象も異なります。これから数回にわたり、地球観測衛星の特長や主な機能を、お伝えしていきます。1回目は、地球温暖化の防止に貢献する温室効果ガス観測技術衛星「いぶき」（GOSAT）と、その後継機GOSAT-2の登場です。

第一宇宙技術部門 地球観測研究センター 主任研究開発員
久世（くぜ） 暁彦（あきひこ）

無謀な挑戦も粘り強く改良を繰り返し実現

日々の生活が便利に快適になる反面、二酸化炭素やメタンなどの大気中の濃度は増加の一途となり、これらの温室効果ガスによる地球規模の温暖化は、環境に深刻な影響を与えつつあります。問題解決には、地球各地域で化石燃料などの消費により二酸化炭素がどのくらい排出されているのか、そして植物や海がどれだけ吸収して増加を抑えてくれているのか、さらに二酸化炭素より一桁以上強い温室効果をもつメタンは、どこからどれだけ出ているのかを正確に知る必要があります。一つの機器によって、地球の息遣いの高頻度かつ長期間にわたる観測を宇宙から実現しようとJAXA・環境省・国立環境研究所が共同で、2009年1月に世界に先駆け打ち上げたのが、温室効果ガス観測技術衛星「いぶき」（GOSAT）です。

二酸化炭素は大気中にわずか0.04%しかなく、その1%にも満たない変化をとらえられないようなセンサでは役に立ちません。目に見えない微小な変化を、東京～広島間を縦にした距離に匹敵する高度約670㎞から観測するのは無謀だと言われましたが、我々は実験室、地上、航空機と実験を重ね、打ち上げ後も何回も処理プログラムのバージョンアップを行い、観測を実現させました。

1万色を見分ける目

「いぶき」に搭載した温室効果ガス観測センサ（Thermal And Near infrared Sensor for carbon Observation-Fourier Transform Spectrometer: TANSO-FTS）は、人間の目に当たるものですが人間が知覚できる3原色ではなく、1万色以上を識別できます。それにより人間には無色に見える大気を成分別に見分け、1日に地球を14周して1万以上の地点の二酸化炭素やメタンの濃度を測り続けています。一度打ち上げた衛星は、修理ができないだけでなくレンズを拭くことさえできません。カメラが美しい被写体を基に性能を評価するように、我々も毎年6月に、温室効果ガス観測センサにとっては地球上で最も美しい大地と大気を持つネバダの砂漠に赴き、「いぶき」の性能が7年間、宇宙で変化していないか確認しながら世界にデータを提供しています。

「いぶき」の観測点は、ほぼ全球をカバーする。緑色の三角形は地上観測点

明らかになる新事実

「いぶき」から送られてきた観測データは、全世界に公開され、どの国の研究者でも、無償でデータを入手して解析できるようになっています。データの有用性は、観測条件や性能を明らかにしていくことで、多くの研究者に認められるようになり、今では世界10カ国以上の研究者が自国の研究資金を投じて「いぶき」のデータを解析しています。

このように世界中の研究者が参加するようになり、開発当初は予想していなかった新たな事実が、「いぶき」のデータから明らかになりました。その一つがメタンの発生源についてです。メタンの発生源はこれまでよくわかっていなかったのですが、「いぶき」のデータを解析し、先進国による石油・天然ガス田・石炭採掘場・家畜・ゴミ集積場などからの排出量が過少に評価されていたことを明らかにし、新たな環境対策の必要性を示しました。

さらに、「いぶき」は地球上の植物が二酸化炭素を吸収する様子をとらえることも可能です。1万色が識別可能な「いぶき」の目は植物が光合成をするときに発する光を、宇宙から観測することに世界で初めて成功し、目で見る葉の状態だけではわからない、地域や季節による二酸化炭素の吸収量の違いなどもわかるようになってきたのです。

そして未来へ

「いぶき」は太陽電池パドルの片翼の回転停止などのトラブルも克服しながら、毎日こつこつと観測を続け、運用は8年目に入りました。決して単調ではなく、場所や年によって変動しながらも地球全体としては徐々に増加する二酸化炭素を宇宙からとらえ続けています（図を参照）。2017年度には、「いぶき」の後継機としてGOSAT-2の打ち上げが予定されています。GOSAT-2では、二酸化炭素とメタンをより高精度で測定するほか、新たに一酸化炭素も測定します。さらに、雲やエアロゾル（浮遊粒子状物質）を測定するセンサも一新され、黄砂などのエアロゾルが大気中を飛散する様子が、現在よりもはっきりととらえられると期待されています。

宇宙からの温室効果ガス観測を切り拓いた「いぶき」は、10年スケールの観測を続けながら元気にGOSAT-2へバトンタッチし、地球の息遣いを宇宙から見守り続けます。

「いぶき」（GOSAT）（CG）

2017年度に打ち上げ予定のGOSAT-2（CG）

転がり軸受の長寿命化で、壊れない人工衛星づくりを目指す

人工衛星などの宇宙機を長期間運用できれば、通信・気象・測位に関わるデータの継続的かつ安定した取得や国際競争力の強化につながります。宇宙機の信頼性と耐久性を高める研究テーマ「長寿命化研究」の一環として、衛星搭載機器などに用いられる転がり軸受も長寿命化が進められています。

取材:荒舩 良孝(科学ライター)

研究開発部門
第二研究ユニット
研究開発員
間庭 和聡（まにわ かずあき）

人工衛星にたくさん使われている軸受

皆さんは、軸受(ベアリング)という部品をご存じでしょうか。自動車の車輪など回転する機構を持つ、ほぼすべての機械で使われている要素部品です。回転軸とハウジング(固定側)の間に軸受を入れて、回転軸を支え、スムーズに回転するようにします。

この軸受は、人工衛星でも大活躍しています。太陽電池パドルの駆動機構、観測センサやアンテナなどを動かす機構、リアクションホイールなどの人工衛星の姿勢を制御する機構など、回転する動きをする部分にはすべて軸受が使われています。

軸受にもいくつか種類がありますが、仕組みが簡単で保守の手間がかからないものが転がり軸受です。間庭和聡研究開発員は国内軸受メーカーの(株)ジェイテクトと共同で、転がり軸受の長寿命化に取り組みました。「現在、多くの人工衛星は5〜7年の寿命で設計されています。設計寿命の長い人工衛星を開発していくために、まずは寿命を左右する要素部品である転がり軸受の寿命を延ばそうと考えたのです」と間庭研究開発員は、研究の動機を教えてくれました。

工学のすべての要素が凝縮

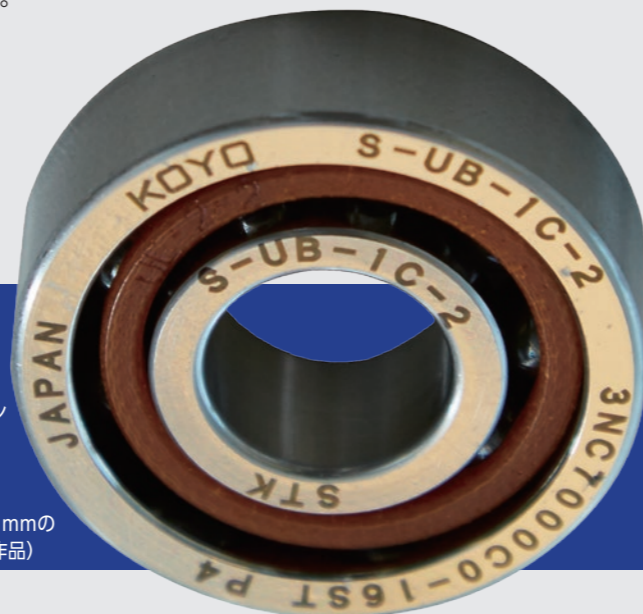
転がり軸受は、回転軸に取り付ける内輪、ハウジングに取り付ける外輪の間に、玉などの転動体と、それら転動体を支える保持器が挟まる構造です。内輪・外輪・玉は1点で支え合う構造になっています。さらに、それぞれの表面を油などで潤滑して、内輪・外輪・玉が接触するのを防ぎ、高速で回転するときの摩擦熱を抑えます。

これまでは軸受に金属製の玉を使ってきましたが、間庭研究開発員らは、より摩耗の少ないセラミックス製の玉を採用しました。セラミックス製の玉を用いた軸受は、(株)ジェイテクトの得意とする技術でもあります。さらに、軸受の隣に潤滑剤を染みこませた多孔質体を配置することで、保持器案内部を通じて軸受の内部に潤滑剤が供給され、長期にわたり最適な潤滑剤量を軸受内に保ちます。

これらの工夫によって、低軌道衛星で12年、静止軌道衛星で20年という長期の寿命に対応していきます。「ただし、これで軸受が完成したわけではありません」と間庭研究開発員は言います。軸受の長寿命化を目指して技術開発してきたものの、それを評価する技術がまだ確立していません。つまり、「寿命の長さを短期間で評価する」という矛盾を解決しないといけないのです。

間庭研究開発員は「軸受はとても単純に見えますが、工学の要素がすべて凝縮されていますし、実際に動かしてみないとわからないという面白さがあります」と軸受研究の魅力を熱く語ってくれました。軸受を長寿命化することで、人工衛星の寿命が延びれば、安定して観測できる期間が長くなり、新たな衛星の開発コストも抑えられます。軸受はあまり表に出てくる技術ではありませんが、宇宙開発を根底から支える縁の下の力持ちなのです。

長寿命化された転がり軸受(中央)を構成する部品:
左ケース:外輪・セラミックス製の玉・保持器・内輪
右ケース:多孔質体(白色、ポリエチレン製)と間座

内径10 mm、外径26 mmのアンギュラ玉軸受(試作品)

JAXAベンチャー第1号

オリガミ・イーティーエス合同会社が事業スタート

2015年11月10日、『JAXAベンチャー支援制度』を活用し、JAXAベンチャー第1号のオリガミ・イーティーエス合同会社(以下、OE)が設立されました。『JAXAベンチャー支援制度』とは、JAXAの保有する知的財産を社会に還元することを目的として、JAXA職員自らがベンチャー企業を設立・運営することを支援する制度です。OEとは、どのような企業なのでしょうか?

研究開発部門
システム技術ユニット
主任研究開発員
小澤 悟（おざわ さとる）

第一宇宙技術部門
先進光学衛星
プロジェクトチーム
研究開発員
小林 高士（こばやし たかし）

取材:荒舩 良孝(科学ライター)

「きく8号」で生まれた大型展開アンテナ解析技術

OEを設立したのは、人工衛星の開発などに携わっている小澤悟さんと小林高士さんです。あるとき、小林さんから「面白そうな制度がある」と、『JAXAベンチャー支援制度』の話を聞いて、小澤さんの脳裏に数値解析ソフトウェアOrigami/ETSが思い浮かんだのです。

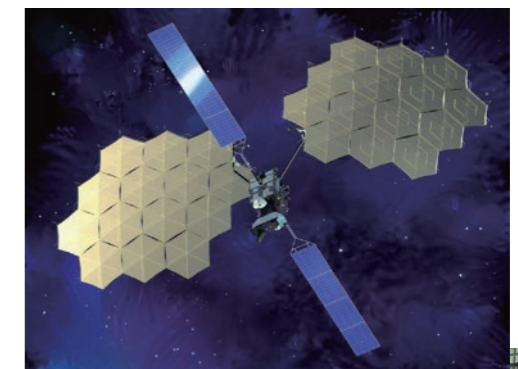
Origami/ETSで使用されている大型展開アンテナ解析技術は、技術試験衛星VIII型「きく8号」(ETS-VIII)に合わせて開発されました。「きく8号」は、通信衛星端末の小型化を実現するために巨大なアンテナを2つ搭載しています。その後、大型展開アンテナをさらに拡大する研究を行い、その中でOrigami/ETSを完成させました。

JAXAに眠る技術を有効活用

「きく8号」は2006年12月に無事に打ち上がり、今も活躍しています。しかし、現在は、JAXA内でOrigami/ETSを使用する機会はほとんどなくなってしまいました。一方、大学や民間ではOrigami/ETSが使われており、少しずつ需要が拡大していったのです。民間企業からは、開発当初は考えもしなかった、宇宙分野以外における用途での相談が多く、それぞれの要望に対応するためのカスタマイズが必要になってきました。

開発者の小澤さんにとって、Origami/ETSが大学や企業で利用されるのはとても喜ばしいことですが、これらの個別要望に対し、「JAXA業務」という枠の中では、時間をかけて適切かつ十分に対応することは難しいと感じていました。そこで、Origami/ETSを広く利用してもらうためにJAXAベンチャーを立ち上げたのです。

『JAXAベンチャー支援制度』は、過去3件の申請がありましたが、事業性の観点などから認定は見送られており、これまでJAXAベンチャー企業は1社も設立されたことはありませんでした。そのため、2人は、新事業促進部から紹介してもらった産業連携コーディネータらと事業計画などに関する議論を重ね、起業申請に必要な書類も幾度となく書き直し、ようやくJAXAベンチャー第1号としてOEの設立にこぎ着けることができました。

2人は、JAXA職員との兼業で会社を運営し、事業活動は基本的に土・日やJAXAの定時時間後に行う、と言います。民間企業での使用実績の確実な積み上げによって、Origami/ETSの新しいニーズの掘り起こしが期待されます。小澤さんは「JAXAで開発した技術がコアになり、民間企業の色々なソフトウェアに新しい機能として加わることで、JAXAの技術を一般の人々にも広めたいと思っています」とOrigami/ETSの将来像を語ってくれました。小林さんは「『JAXAベンチャー支援制度』は埋もれたJAXA技術を外に広められるいい制度なので、2社目、3社目をつくる人たちが出てくれれば嬉しいですね」と、後に続く「起業者」にエールを送りました。

右側に受信用、左側に送信用の大型展開アンテナを持つ「きく8号」(ETS-VIII)(CG)

「きく8号」搭載用アンテナの展開試験

Astronomy-Space Test

天文宇宙検定

さぁ！天文宇宙博士を目指そう！

第6回

試験日 2016年10月9日(日)

申込締切日　9月1日(木)

実施エリア▶札幌・東京・名古屋・大阪・福岡・沖縄（名護市）

詳細はWebで▶ http://www.astro-test.org/

主催　(一社) 天文宇宙教育振興協会　協力　天文宇宙検定委員会　㈱恒星社厚生閣

協賛　京都産業大学　㈱セガトイズ　㈱ビクセン　丸善出版㈱　後援　千葉工業大学　(公財)日本宇宙少年団　(一財)日本宇宙フォーラム

公式テキスト・参考書・問題集

★ **公式テキスト**　各B5判・フルカラー・定価1,620円（税込）

2級　銀河博士　好評発売中！
幅広い知識が身につく一冊。　対象：高校生～

3級　星空博士　好評発売中！
教養としての天文学の入門書。対象：中学生～

4級　星博士ジュニア　4級改訂版　7月末発売予定
天文学の基礎を学べる本。　対象：小学校高学年～

★ **公式問題集**　各A5判・予価1,944円（税込）

1級　天文宇宙博士
2級　銀河博士
3級　星空博士
4級　星博士ジュニア

過去問題・予想問題と解説を掲載。
各級改訂版　7月末発売予定

★ **1級公式参考書『超・宇宙を解く―現代天文学演習』**
B5判・定価5,400円（税込）　福江 純・沢 武文 編　好評発売中！
大学教育の実践から生まれた現代天文学の演習テキスト。

★ **公式問題集アプリ**　好評発売中！
各級 販売価格1,600円（税込）
http://ukaru-app.com

恒星社厚生閣　TEL：03-3359-7371　FAX：03-3359-7375　http://www.kouseisha.com/

広報部　〒101-8008 東京都千代田区神田駿河台4-6
御茶ノ水ソラシティ
TEL:03-5289-3650　FAX:03-3258-5051

JAXAウェブサイト　http://www.jaxa.jp/
メールサービス　http://fanfun.jaxa.jp/media/mail/